CVDによる金型の表面処理

平 原 民 雄*

Surface Finishing of Dies by CVD Process

Tamio HIRAHARA*

Key Words : CVD, Die, TiC, TiN

CVDによるTiC及びTiNコーティングは優れた耐摩耗性、密着性、離型性のために、板金プレス、冷間鍛造、ダイキャスト、プラスチックの各種金型に寿命延長、製品品質向上に大きく寄与している。

1. まえがき

CVD (Chemical Vapor Deposition) は化学蒸着と呼ばれ、PVD (Physical Vapor Deposition) は物理蒸着と訳される。両者合わせてVD (Vapor Deposition, 蒸着) の技術を構成している。金属の化合物 (ハロゲン化合物である場合が多い) を加熱した物質 (鋼や超硬合金で作られた金型) 上にガス (蒸気) 体で供給し、混合ガスから化学的にその金属の炭化物、硼化物、窒化物、酸化物の硬質物質の皮膜 (薄膜) を製造するのに、CVD は最も効果的に利用されている。

CVDによって製造される皮膜の中で、塑性加工を始めとする種々な金型に適用可能となるためには耐摩耗性、耐熱性並びに耐食性を満足するものでなければならない。更に製造に必要な原材料の入手性、価格プロセスの安定性等から考えた場合、TiCやTiNが筆頭に上げられる。

第2次世界大戦後、このTiCやTiNを金型に最

初に利用して今日の基礎を作ったのは、西独のDr. W. Ruppertである。

“Dr. W. Ruppert was the first to recognize and apply the superior wear resistance of TiC coatings on metal works tools—1972年国際CVD会議 (於アメリカ) での世界的CVDの権威者Dr. J. Blocherの言葉より—

我が国ではマツダ株式会社 (旧・東洋工業) が1969年に始めて導入して今年で20年となり、板金プレス金型、冷間鍛造金型、粉末成形金型、ダイキャスト金型、プラスチック金型等の各種の金型に利用され、金型費の低減、製品の品質向上に大きく寄与している。

2. CVDの原理

2.1 CVDの分類

CVDを分類すれば表1のようになる。これらの内、高温CVDが最も多く利用されている。

プラズマCVDは直流または高周波放電によって作られたプラズマを利用する。プラズマによって活性度の高いイオンを生成し、CVDの付きまわり性とPVDの低温化という両者の長所を兼ね備えた新しいプロセスとして注目されている。

数百度以下の低温CVDの内では、耐摩耗性の高い W_2C コーティングが有望である。光CVDはレーザーCVDで代表されるように光の単色性、収束性、指向性、エネルギーの高強度性を利用し、被析出物の微少領域～大面積領域での析出、高速析出ならびに低温析出を目指して、現在盛んに開

* 東京ハードコート(株) (〒366 埼玉県深谷市大字上野台字松原1450-27)

Tokyo Hard Coat Co., Ltd. (1450-27, Aza-Matsubara, Ohaza-Uenodai, Hukaya-shi, Saitama 366)

表1 CVDの種類

		温 度	皮 膜
CVD	熱CVD	高温CVD	1000℃ TiC・TiN・Al ₂ O ₃
		低温CVD	300℃～550℃ W ₂ C
		プラズマCVD	300℃～500℃ TiN・TiC C-BN・Si ₃ N ₄
		光CVD	

発が行われている。

2.2 化学反応式

熱CVDの反応式は下記の通りである。

- ・TiC : $\text{TiCl}_4 + \text{CH}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{TiC} + 4\text{HCl} + \text{H}_2$
 $\text{TiCl}_4 + 2\text{Fe} + \text{C} \rightarrow \text{TiC} + 2\text{FeCl}_2$
 $\text{TiCl}_4 + \text{C(Fe)} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{TiC} + 4\text{HCl}$
- ・TiN : $\text{TiCl}_4 + 1/2\text{N}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{TiN} + 4\text{HCl}$
- ・Al₂O₃ : $2\text{AlCl}_3 + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} + 3\text{CO}$
- ・W₂C : $2\text{WF}_6 + 1/6\text{C}_6\text{H}_6 + 5\text{H}_2 \rightarrow \text{W}_2\text{C} + 12\text{HF}$

図1は熱CVDの代表的なコーティング装置の概略図を示す。

密閉したレトリート内にコーティング部品を装入し、所定の温度に保った後TiCl₄、H₂、CH₄等の混合ガスを供給すると金型材料やコーティング温度にもよるが2～4時間で、5～15μm析出する。TiC単層の他にTiC+TiNの2層も効果的に利用されている。

図1 TiCコーティングの装置

3. 特 徴

高温CVDは一般に次の長所を有する。

- (1) 結晶性の良好なコーティング膜が得られる。
- (2) コーティング層は母材と強い金属結合を形成しているので密着強度が強い。
- (3) ガスによるコーティングであるから、皮膜の付きまわり性がPVDに比べて良く、細い穴や溝にも均一なコーティングが得られる。

以下、TiC、TiNコーティングの特性について述べる。

3.1 適用母材

- ・鋼：TiCの場合、母材に0.4%以上の炭素が必要である。

- 炭素工具鋼
(SK 3・SK 4・SK 5)
- 冷間ダイス鋼
(SKD11・SKD12・DC53・SLD 8)
- 冷間金型用鋼
(SKS 3・SKS31)
- 熱間工具鋼
(SKD61・SKD62)
- マルテンサイト系ステンレス鋼
(SUS440C・SUS420J₂)
- 高速度工具鋼
(SKH51・SKH55・SKH57・YXR 3・MH 85高速度鋼)
- その他、プラマグ用非磁性鋼
(YHD50・NAK301)
- プラスチック金型用鋼
(PD613・HPM31)

等が金型の目的に応じて使用に供されている。

- ・超硬合金：塑性加工用としてG 2～G 7が一般に用いられている。

G 2～G 4 が板金プレス用にG 5～G 7 が冷間

図 2 SKD11上のTiC層

図 3 SKH51上のTiC層

鍛造用に用いる。Coが多くなるにつれて靱性は増すが、コーティングによってCoの再結晶による寸法変化が生じるので注意を要する。

3. 2 顕微鏡組織

図 2 はSKD11上のTiC層、図 3 はSKH51上のTiC層の顕微鏡組織を示す。両者とも焼入れ、焼戻し後の組織を示している。TiC層は緻密な結晶体である。

3. 3 密着性

スイスのDr. H. E. Hintermannの開発したスクラッチテスターはAcoustic Emissionの測定によって臨界荷重(Lc)を出し、密着性の評価が出来る。コーティング厚さ、母材料の硬さによっても値が左右されるが品質管理上有力な機器となっている。図 4 はTiC層8 μmの場合のLc=47N(ニュートン)の実測データを示す。

3. 4 硬さ

図 5 は表面処理に用いられる硬質物質の比較を示す。TiCの硬さは、1000℃で蒸着した状態のま

図 4 スクラッチ試験によるLc実測

図 5 硬質物質の硬さ比較

図 6 焼入加熱温度とTiC層のマイクロビッカース硬さの関係（加熱保持時間は20分一定）

まのマイクロビッカース硬さ値を示す。高速度工具鋼は、1150～1210℃の範囲で焼入れしているが、この時TiC層中にW、Mo、Vが固溶して硬さを下げる（図 6 及び図 7）。一方、母材との密着力はSKD11に比べて一段と向上することが判明している。

3. 5 耐摩耗性

大越式迅速摩擦摩耗試験機を用いた試験結果を図 8 に示す。窒化はSKH51に処理し、表面硬さはHv1360、超硬合金はWC+11%Coで硬さはHv

1700である。TiCコーティングは超硬合金とほぼ同一耐摩耗性を示す。

3. 6 摩擦特性

ピン-ディスク摩擦摩耗試験機を用いた摩擦係

数、摩耗の測定結果を表2、無潤滑下の材質の組合せとを替えた場合の摩擦係数を図9に示す。無潤滑下ではTiC-鋼の組合せは鋼-鋼同志に比べて摩擦係数は1/5～1/3となっている。表2はTiCコーティングディスクと組合わされるピンの摩擦が極めて少ないのが注目値する(No.7.8)。

3. 7 耐食性

TiCやTiN自体は非常に耐食性が強く、特に前者は王水とフッ酸以外には侵されない程であるが、コーティング層にピットが発生するので、強腐食環境下での使用は避けるとしても一般的には耐食性は強い。

3. 8 耐酸化性

TiC及びTiNは空気中では高温になると酸化して、本来の耐摩耗性を損なうので注意を要する。

図7 1210℃で60分間保持した試料のEPMAによる分析結果

図8 大越式迅速摩耗試験結果

組合わせ		摩擦係数 スケール						
ディスク	ピン	値	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60.7
MoS ₂	銅	0.15						
TiC	TiN	0.15						
TiC	TiC	0.17						
TiC	銅	0.27						
Cr _x C _y	Cr _x C _y	0.51						
TiN	TiN	0.53						
鋼	鋼	0.56						
TiN	鋼	0.56						
Cr _x C _y	鋼	0.60						
Fe _x B _y	鋼	0.62						
Fe _x B _y	Fe _x B _y	0.73						

図9 無潤滑下での摩擦係数

表2 ピン-ディスク摩擦摩耗試験

(ピン材質:SKS2, 潤滑油:ペロサイトK, ピン寸法:球6φmm)

No	材 質		荷 重 [kg/mm]	滑り速度 (cm/min)	潤滑	総回転数	平均摩擦 係 数	摩 耗 量	
	ピン	ディスク						ピン [mm³] ×10 ⁻⁶	ディスク [mm³] ×10 ⁻⁴
1	鋼	TiC	95	50	有	10,000	0.1	17.2	4.8
2	"	鋼	77	50	"	10,000	0.09	21.2	6.2
3	"	TiC	120	50	"	10,000	0.1	17.2	4.2
4	"	鋼	120	50	"	10,000	0.09	91	6.9
5	"	TiC	95	50	無	1,000	0.14	3.4	2.1
6	"	鋼	77	50	"	1,000	0.7	770	128
7	"	TiC	120	50	"	1,000	0.15	3.4	5.5
8	"	鋼	120	50	"	1,000	0.7	1,800	128
9	"	TiC	95	173	"	1,000	0.14	1.4	3.1
10	"	鋼	95	0.8	"	1,000	0.12	0.22	1.8

TiCはTiO₂となり、Hv600程度まで下がる。コーティングした金型が高温で使用される場合、連続的であるかないかにもよるが、TiCの場合一般に500℃以上での使用は注意を要する。TiNはTiCより100℃程度使用限界温度は高くなると考えてよい。

効果を考えるとき、以下の長所が基本になっている。

- (1) 優れた摩擦摩耗特性
- Fe, Al, Cuとの摩擦に対して、耐摩耗性が抜群な上に親和力が弱いので、焼付きや凝着現象が生じにくい。
- (2) 離型性が良好である

上記(1)とも関連することであるが型離れが非常に良い。金属、セラミックス、更にプラスチックに対しても有効である。

4. 応 用

TiCやTiNコーティングの優れた金型への応用

表 3 TiC及びTiNコーティングの用途

適 用 分 野	品 名	被加工材製品の分野
板金プレス加工	①打抜き（ブランク、ピアス） 剪断刃（シャー） ②曲げ パンチ、ダイ ③絞り ドローパンチ、ダイ、 ブランクホルダー、 リストライクパンチ、ダイ ④ロールフォーミング ロール、シーミングロール ⑤その他 バーリング、カーリング、エンボス フランジング、コイニング、シェー ピング、カシメ、ビーディング、な どのパンチ、ダイ、ピン	自動車部品 自動車用電装品 電機部品、照明機器、電子部品、 コンピュータ部品、建築、建設用部 材、船舶、建機、各種搬送機器、 生活用品、食器、容器類
線 材 加 工	ガイドロール、フィードロール、OTローラ 切断刃、チャック爪、プレート、巻芯、ノズル、 ブッシュ、線引きダイスなど	スチールタイヤコード マイクロワイヤ溶接棒 ピアノ線、軟鋼線など
鋼 管	フォーミングロール、矯正ロール、切断刃、フィ ンロール、マッシュロール、抽伸プラグダイ、 ピンチローラ、ガイドローラ、芯金、マンドレ ル、など	建設部材 化学プラントなど 道路、ビル等建設部材 楽器、自動車、自転車等 搬送機器部品
冷 間 鍛 造 （温間含む）	ピアスパンチ、KOピン、トリムダイ、前方押 出しパンチ、ダイ、後方押しパンチ、ダイ、 据込み加工パンチ、ダイ、ヘッディングパンチ、 ダイ、切断刃、転造ダイ、十字ネジ用パンチ、 ダイ、KOピン	ボルト、ナット、自動車部品 電気部品、十字ネジ その他
切 削 工 具	タップ、チェザー、バイト、微いスタイラス、 スローアウェイチップ、リーマ、ドリルなど	ナット、自動車部品、電気部品、 その他各種部品
ダイキャスト	入子、鑄抜ピン 入子ピン、鑄型	各種ダイキャスト部品
プラスチック ゴ ム セラミック成形	射出、押し出しスクリュウ、ノズル、逆止リン グ、成型型、ホットランナー部品、トービード、 混練機部品	自動車部品、電気部品、電子部品、 船舶、建築部材、生活用品、その他
粉 末 成 形	杵、臼、コアロッド、混練機部品、ガイドレ ールなど	フェライト部品、薬剤、触媒、自動 車部品、電気部品など
機械部品治具など	プラグゲージ、基準ピン、ルール、フィーダー、 カム、スタイラス、ノズル、弁、プランジャー、 ガイド、ローラーなど	繊維機械、食品機械、包装機、印刷 機械、溶接機械などの自動機ライン 化学プラントなど設備部材金属加工 機などの自動機の耐摩耗部品

(3) 高鏡面性

ダイヤモンドラッピングすれば表面粗さを0.01 μmまで下げることは可能であり、超高硬度材料でありながら被加工材との接触において相手材を損傷させることが極めて少ない。

表3は各種分野でのTiC及びTiNコーティングの用途例を示している。以下、金型の種類によ

ての使用実績について説明を加える。

(1) 板金加工金型

TiCコーティングが最も多く使用され、かつ最大の効果を発揮する分野でもある。プレス加工では金型と被加工材との摺動によって生じる焼付きやかじりがTiCコーティングの潤滑効果によって大幅に防止することが可能である。図10は板金加

加工製品	被加工材の材質、板厚、TiCコーティングされた工具	TiCコーティング適用前状態	TiCコーティング適用後の状態	備考	寿命比較
・ SUS304 t=1.0 ・ ピアシングパンチとダイにコーティング	・ 使用工具 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 189,000 ストローク	・ 母材材質 SKD11 パンチ HRC58 ダイ HRC60 ・ 工具寿命 430,000 ストローク 引き続き加工中	・ パンチは折損しやすいので、 H _R C58とした ・ 加工穴径3.0mm	従来 189,000 TiC 430,000
・ APH32 Ds t=3.2 ・ フランジングダイにコーティング	・ 使用工具 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 20,000個で廃却 10,000～2,000でカグリ発生	・ 母材材質 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 380,000個加工後 再コーティング	・ 再コーティングは2回可能	従来 20,000 TiC 380,000
・ SPC-C t=3.0 ・ フランジングダイとパーリングパンチにコーティング	・ 使用工具 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 カグリキズはさけられず全数バフ仕上げ必要	・ 母材材質 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 370,000個加工後 引き続き加工	・ 同上 ・ バフ仕上げが不要	量産不可 TiC 370,000
・ APH32 Ds t=3.2 ・ フランジングダイとパーリングパンチにコーティング	・ 使用工具 FC25 ・ 工具寿命 500個でダイR修正	・ 母材材質 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 70,000個加工 引き続き加工		従来 500 TiC 70,000
・ SUS430 t=1.0 ・ ドローイングダイにコーティング	・ 使用工具と工具寿命 ・ SK3硬質Crめっき3,000個加工後 再めっき ・ 超硬合金 100,000個加工後 廃却	・ 母材材質 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 150,000個加工後 再コーティング	・ 再コーティングは2回可能 ・ 超硬合金型ゲイスは、 ボンデ処理必要TiCコー ティングダイスでは不要	HCr 3,000 超硬 100,000 TiC 150,000
・ SPC-C t=1.2 ・ フログレッシュ型2nd ドローイングダイにコーティング	・ 使用工具と工具寿命 ・ SKD11 HRC60 10,000個加工 ・ 超硬合金 100,000個加工後 廃却	・ 母材材質 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 980,000個加工 廃却		SKD 10,000 超硬100,000 TiC 980,000
・ SUS430 t=0.5 ・ ドローイングダイにコーティング	・ 使用工具 SKD11 HRC60 ・ 工具寿命 3,000個加工後 ダイR修正	・ 母材材質 SKD11 H _R C60 ・ 工具寿命 250,000個加工 引き続き加工	・ ダイRの修正時間は1 H/回	従来 3,000 TiC 250,000

図10 TiCコーティングの使用結果

工での使用結果を示す。

図11は冷蔵庫コンプレッサー用シェルの深絞りパンチ&ダイを示す。逆絞り，リストライク工程では，特に威力を発揮し，製品の品質向上とプレス機械の稼働率向上に大きく寄与している。

図12はピアシングパンチの例を示す。鉄板の板厚が2 mm以上，しかも高張力鋼板は特にパンチの摩耗が激しい。パンチ側面のTiCコーティング層は製品のバリやだれを防止し，精度の高い穴加工が可能でしかも工具寿命は5～10倍程度伸ばすことが出来る。

図13は自動車ショックアブソーバのパイプ引抜用マンドレルを示す。高度に鏡面加工されたマン

ドレルを使用すると金型の寿命が大幅に伸びるだけでなく，内面が非常にきれいなパイプを製造することができる。

図14は自動車電装用ハウジングしごき加工を示している。しごき量0.15～0.18mmを2段でしごいているが，超硬合金G5だけでは数個しか焼付きのため加工できないが，TiCコーティングして3万～4万個加工できた。超硬合金だけでは実質上，加工不可能であった。

(2) 冷間鍛造金型

TiC単層，並びにTiC+TiN 2層コーティングは面圧200kg/mm²程度の冷間鍛造時に発生する応力に耐えることが出来る。適用母材は標準高速度工具鋼のSKH51からHRC68の粉末高速度工具鋼まで靱性と硬度を考慮して使い分けされている。

図15はTiCコーティングによる冷間鍛造金型の使用結果を示している。

図16はナットのねじ成形前の下穴打抜きパンチを示す。パンチの寿命は4～8倍伸びるだけでなく，下穴精度が良くなるので次工程のタップの損耗を1/2まで削減出来た例もある。

図17は後方押し出しパンチの例を示す。パンチ寿命が3～8倍程度伸びるだけでなく，加工された製品は焼付きのないきれいな内面仕上がりが見られた。

(3) 粉末成形金型

粉末の種類はFe，Cu，セラミック，無機薬品と幅広く利用されている。焼成前の圧粉，あるいは焼成後のサイジング工程において製品の型離れが良い特性を発揮する。

図18は自動車ブレーキパットの成形パンチを示

図11 コンプレッサー用シェルの深絞りパンチとダイ

図12 ピアシングパンチ

図13 パイプ引抜用マンドレル

図14 自動車電装用ハウジングしごき加工

す。

図19はセラミックス粉末を湿式で成形する場合の押出し機のスクリーにTiCコーティングしたものである。セラミックス粉末の研磨効果により、スクリー材料から混入されるコンタミネーショ

ンが防止出来る。エレクトロニクス高純度粉末の場合、特に効果が期待出来る。

(4) ダイキャスト金型

Alのダイキャスト金型に应用すると、Al溶湯が焼付きにくく製品鑄肌のきれいなダイキャスト

図16 ナットピアパンチ

図18 ブレーキパット成形パンチ

図17 後方押しパンチ

図19 セラミック押しスクリー

図15 TiCコーティングによる冷間鍛造型寿命テスト効果

図20 鋳抜きピン

図21 射出成形機用スクリュー

が可能となる。SKD61製のピンや中子がTiC単層、又は2層コーティングされている。特に鋳抜きピンは寿命が伸びるだけでなく、先端テーパ角度を小さくすることが出来、次工程のダイレクトタップピン加工でタップの損耗を半減した例もある。

図20はTiCコーティングした鋳抜きピンを示す。
(5)プラスチック金型

グラスファイバー入りプラスチックの成形金型は耐摩耗性と耐食性が要求される。SKD11, SUS 420J₂, PD613の高Cr材がTiC, TiNコーティングされる。

プラスチック金型は寸法精度が厳しいので、蒸着とそれに続く熱処理変形許容内に入るためには、比較的小物の金型が適用される。図21は射出成形機のスクリューを、図22はスクリューヘッドとリングを示す。TiCやTiNコーティングは耐摩耗性の向上と焼け対策用に卓越した性能を発揮することが認められている。

5. あとがき

本稿では実用性という点でTiC並びにTiNに焦点を当てたが、これらの皮膜以外にマイナーでは

図22 射出成形機用スクリューヘッド及びリング

あるがクロマイジング- $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$ -、ボロナイジング-FeB, Fe_2B -も一部の特殊な用途に使用出来る。即ち、前者は耐摩耗性よりも耐食性を重視した用途に、また後者は鑄造用砂型の成形金型や熱間鍛造金型に応用して実績を上げている。

これから注目したい技術にDiamondlike carbonがある。現在、超硬合金上のコーティングとして切削工具への適用が考えられているが、密着性の高い鋼へのコーティングが可能となれば耐摩耗性が高いだけに広範囲な用途が期待される。

(1990-5-2 受理)